

Verkleuringen en defecten bij Indische zandsteentegels

Sinds kort duiken steeds meer ingevoerde Indische zandsteensoorten op in ons vertrouwde straatbeeld. Deze exotische steensoorten verdringen steevast inheemse producten, zoals Condros zandsteen of kwartsiet, niet alleen in het “steenarme” Vlaanderen, maar ook in Wallonië, producent van deze traditionele materialen. De voornaamste reden hiervoor is de relatief lage kostprijs van de ingevoerde exoten, maar betalen we hiervoor op termijn niet een prijs?



Exotische vervangmaterialen

In het kader van partijkeuringen die zijn uitgevoerd in opdracht van COPRO (Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten) en van een bouwheer, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, heeft VITO onderzoek uitgevoerd naar de kwaliteit en meer bepaald naar de oppervlakkige verkleuringen van Indische zandsteen op een Brusselse bouwwerf. De bewuste zandsteensoort, die momenteel massaal als stoepsteen of straattegel (“platine”) wordt aangewend, bijvoorbeeld bij de herinrichting van pleinen en marktplaatsen, is gekend onder de commerciële benaming “Budhpura Grey”. Deze grijze zandsteensoort is afkomstig uit Budhpura, in het Bundi district, provincie Rajasthan (Indië). Ongeveer 10% van de wereldproductie van zandsteen zou uit dit gebied komen. Technische en geologische gegevens van dit product zijn zeer schaars of quasi onbestaand. De Budhpura zandsteen zou geologisch van Precambrium (Proterozoïcum) ouderdom zijn en behoren tot de Bundi Hill Formatie (Boven Vindhyaan). **Karakteristiek voor Budhpura zandsteentegels zijn o.a. de fijne korrel, de bleke grijze tot grijsbeige kleur, het relatief gladde bovenoppervlak en de aanwezigheid van mm-hoge reliëfverschillen (trapjes t.g.v. afschilfering) in het oppervlak.**

Verkleuringen

Opmerkelijk was het feit dat er **oppervlakkige roestbruine verkleuringen optraden, amper enkel weken na plaatsing van de Indische zandsteentegels in het wegdek (foto 1).** Bovendien verkleurden niet alle stenen en bleven sommige onaangestast. Teneinde de oorzaak

Ogenscheinlijk selectieve oppervlakkige roestbruine verkleuring van Indische zandsteen, Brussel.



hiervan te achterhalen werd door VITO een vergelijkend microscopisch onderzoek uitgevoerd op verkleurde en niet-verkleurde tegels van dezelfde werf in Brussel.

Het kwalitatief microscopisch onderzoek werd uitgevoerd aan de hand van flinterdunne doorsneden (ca. 30 micrometer dikte) van de zandsteen, machinaal gemaakt loodrecht op het verkleurde oppervlak. Deze dunne doorzichtige preparaten (z.g. slijpplaatjes) worden in doervallend licht onderzocht met behulp van een polarisatiemicroscop.

Uit dit onderzoek blijkt dat de Budhpura Grey een veldspathoudende zandsteen is. Volgens de Europese standaard (EN 12670) betreft het hier een zogenaamde arkosische zandsteen: dit wil zeggen dat de zandsteen behalve het hoofdbestanddeel kwarts ook tussen de 10-25% veldspaatkorrels bevat. Deze laatste zijn chemisch veel minder stabiel dan het omzeggens inerte kwarts. Opmerkelijk is de fijn gelaagde opbouw van de zandsteen: deze is opgebouwd uit een verticale stapeling van horizontale laagjes van goed gesorteerde en goed aan elkaar gekitte zandkorrels, met een kwartsietische textuur (foto 2). Deze microscopische opbouw wordt macroscopisch ook weerspiegeld in de hoger genoemde oppervlakkige afschilfering. De zandlaagjes (laminae geheten) hebben een dikte van ca. 1 mm tot maximaal enkele mm. De zandkorrels zelf zijn hoekig tot licht afgerond, met een korrelgrootte die schommelt tussen de 80 en 125 micrometer, hetgeen overeenkomt met de korrelgrootte van een zeer fijn zand. Mineralogisch gezien bestaat dit zand uit kwarts (hoofdbestanddeel), veldspaat, chert (zeldzaam), glimmers of mica's (hoofdzakelijk muscoviet) en enkele zogenaamde zware mineralen, waaronder toermalijn, zirkoon en rutiel. De veldspaten zijn sterk verweerd tot kleimineralen en ze zijn lokaal zelfs volledig weggeërodeerd waardoor er een belangrijke secundaire porositeit is ontstaan (foto's 2 en 3). De zandkorrels zijn dicht op elkaar gestapeld en ze zijn relatief goed aan elkaar gekit met een sericietisch-kwartsrijk cement (kwartsietische textuur), hetgeen allicht te maken heeft met hun lange geologische voorgeschiedenis (Precambrium ouderdom).

Opake mineralen

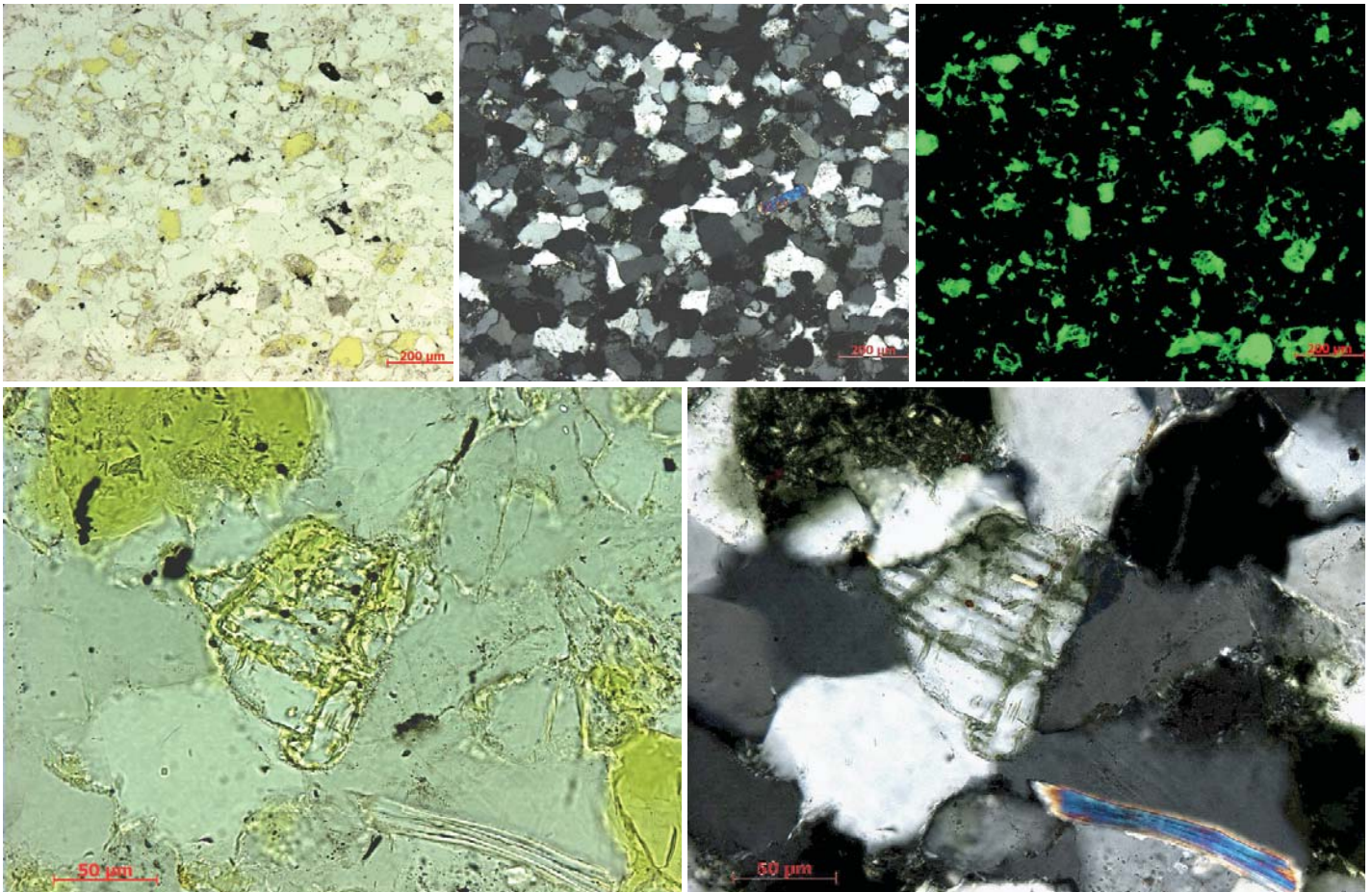
Microscopische opnamen, gemaakt in fluorescerend licht (foto 2c), tonen aan dat er een netwerk bestaat van minuscule adhesiescheurtjes tussen de zandkorrels onderling, zodat er allicht ook een verhoogde permeabiliteit bestaat.

Lokaal komen in de zandsteen ook sterke concentraties voor van zware mineralen (deze concentraties worden “placers” genoemd),

2a-c Microscopische opnamen van slijpplaatjes vervaardigd in Indische zandsteen, loodrecht op de gelaagdheid. De foto's zijn genomen in verschillende lichtomstandigheden: 2a. bij doorvallend gepolariseerd licht, 2b. bij doorvallend gepolariseerd licht met gekruiste polarisators, 2c. bij doorvallend fluorescerend licht. Opvallend is de hoge porositeit die goed wordt geaccentueerd door het gebruik van een geel gekleurde hars dat oplicht onder de vorm van lichtgroene vlekken in fluorescerend licht. De zandsteen heeft een dichte kwartsietische textuur met overwegend grijs gekleurde kwartskorrels (grijstinten zijn functie van de optische oriëntatie van de kwartskorrels).

3a-b Detailopname van Indische zandsteen (microscopische foto-opname van een slijpplaatje): verwerking van een veldspaatkristal (gestreept mineraal) en de hieruit ontstane verhoogde porositeit (secundaire porositeit). De langwerpige korrel is een witte mica (muscoviet). Doorvallend gepolariseerd licht, met en zonder gekruiste polarisators.

2a	2b	2c
3		3b



die het gesteente een extra fijn gelaagd karakter geven. Behalve door zware mineralen, wordt de interne gelaagdheid van de zandsteen ook nog geaccentueerd door concentraties van opake (niet-doorzichtige) mineralen in specifieke laagjes of laminae. Deze opake mineralen werden microscopisch geïdentificeerd als pyriet (ijzerdisulfide). Ze komen voor als onregelmatige clusters van kleine pyrietkristallen (foto 4) met een diameter van 4-10 micrometer. De chemische samenstelling van dit sulfide werd bevestigd door bijkomend elektronenmicroscopisch onderzoek (foto 5) en een micro-analyse (EDX-analyse) (figuur 1). Behalve pyriet komen er in deze "placers" lokaal ook verwerende en geoxideerde, half-transparante of half-opake zware mineralen voor die waarschijnlijk toe te wijzen zijn aan ijzer- en magnesiumrijke silicaten (zie verder). Verweringsproducten hiervan zijn roestkleurig en wijzen ook in de richting van ijzer(hydr)oxiden.

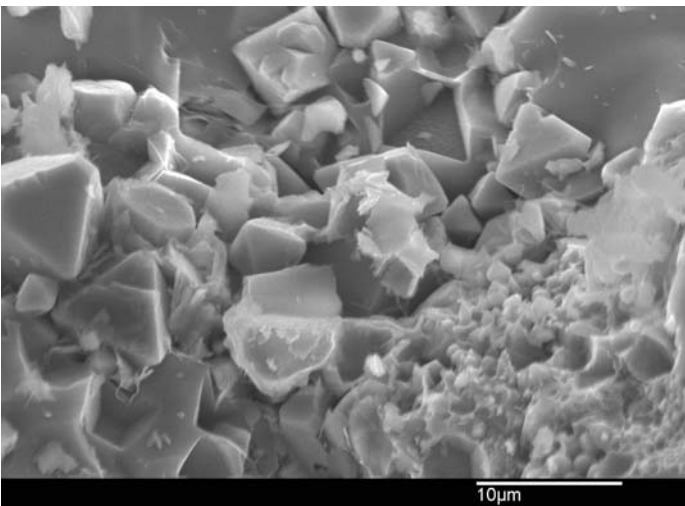
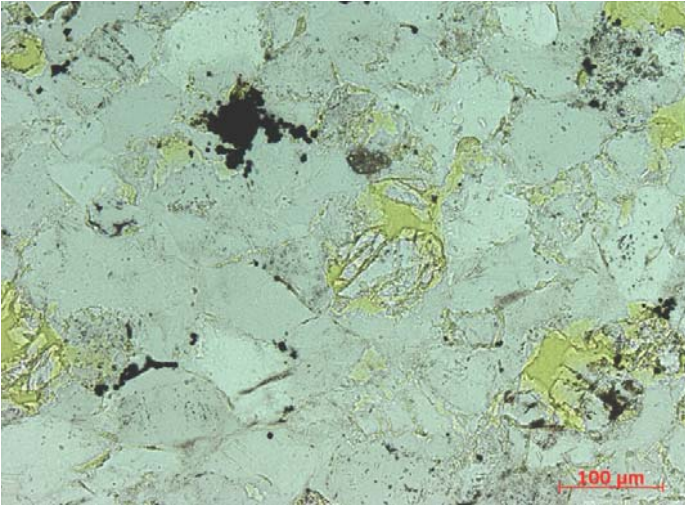
Oorzaak van de verkleuring

Microscopisch zijn de kristallen van pyriet in de buurt van het buitenoppervlak lokaal omgeven door een halo van roestbruine verkleuring. Dit zijn de plaatsen waar vochtige lucht of regenwater (door de relatief hoge porositeit en permeabiliteit) is kunnen binnendringen tot bij de sulfiden. **In het bovenvlak van de verkleurde platine zijn blijkbaar alle (minuscule) pyrietkristallen geoxideerd tot roest** (limoniet of goethiet, FeOOH). Bij macroscopisch onderzoek van het verkleurde oppervlak werd optisch ook geen pyriet meer vastgesteld: dit werd tevens bevestigd door elektronenmicroscopisch onderzoek. **De oxidatie is allicht versneld geworden door contact met cement (hoge pH)** uit de cementsluis waarmee de platines initieel zijn bedekt geweest

(tijdens het invoegen). Volgens literatuurgegevens wordt pyriet inderdaad versneld geoxideerd onder hoge alkalische omstandigheden ($\text{pH}=10$ en meer) en wordt het pyriet volledig omgezet naar goethiet (Brown & Jurinak, 1989¹; Todd et al, 2003²), hetgeen goed overeenkomt met onze observaties.

De reden waarom sommige tegels wel en andere niet verkleuren heeft te maken met de verticale opbouw van het gesteente: de zandsteen is immers opgebouwd uit millimeterdunne horizontale laagjes waarin afwisselend pyrietrijke en pyrietarme niveaus voorkomen. Wanneer een pyrietrijk niveau aan de oppervlakte ligt, dan zal dit preferentieel gaan oxideren met een roestbruine verkleuring van het tegeloppervlak als gevolg. Indien er een pyrietarm niveau aan de oppervlakte ligt zal dit niet verkleuren. De oxidatie van dit pyriet wordt sterk versneld door reactie met cement (wegens de hoge pH).

De verkleuring is oppervlakkig en zal na verloop van tijd door regenwater allicht ook relatief snel gaan verdwijnen (door afspoeling): de roestachtige verkleuring bleek inderdaad na enkele regenbuien deels weg te spoelen. Vreemd is het feit dat de roestkleurige verkleuring bij voorkeur langs de boorden van de tegel verdween en centraal geconcentreerd bleef: mogelijk heeft dit te maken met een versnelde afvoer langs de boorden van de tegel. Het is ook niet uit te sluiten dat het regenwater op termijn een dieper gelegen pyrietrijk niveau zal bereiken en een oxidatie van het hier aanwezige pyriet zal veroorzaken, zeker gezien de relatief hoge porositeit van de zandsteen (Tabel 1). Bovendien kan verwacht worden dat regenwater via adhe-



4
5
6
7

- 4 Verspreid voorkomende clusters van opake mineralen (pyriet) in de Indische zandsteen (doorvallend gepolariseerd licht). Let ook op de sterk verweerde veldspaatkorrels en de hierdoor verhoogde (secundaire) porositeit.
- 5 Elektronenmicroscopische foto-opname van een concentratie aan pyriet (in een zandsteenlaagje) op een vers breukvlak van de Indische zandsteen, met duidelijk herkenbare tetraëdervormige kristallen van het mineraal pyriet.
- 6 Marktplein van Ciney met een beschadigde tegel Indische zandsteen (afgesprongen stuk steen, parallel aan het bovenoppervlak of volgens de gelaagdheid).
- 7 Microscopische foto-opname van een slijpplaatje in Indische zandsteen, genomen loodrecht op de gelaagdheid. Opmerkelijke laagvormige concentraties van zware mineralen (zirkoon), half-opake mineralen (verweerde Fe-Mg-silicaten?) en secundaire porositeit. Doorvallend gepolariseerd licht.

siescheuren op het contact van steen en mortel naar dieper liggende pyrietrijke niveaus van de zandsteen zal kunnen migreren.

Duurzaamheid, goede hechting en mineralogische stabiliteit

Indische zandsteen is ook buiten het Brusselse in opspraak gekomen. Meer bepaald op het heringerichte marktplein van Ciney, werden verschillende defecten vastgesteld in de bestratingen uitgevoerd in Indische zandsteen (foto 6). Hier werden verschillende straattegels -door vorstschade of door belasting door zware vrachtwagens- beschadigd waarbij zandsteenlaagjes zijn afgesprongen.

Reden hiervoor is naar alle waarschijnlijkheid de interne opbouw (textuur) en de chemische samenstelling (mineralogie) van de bewuste zandsteen. **Veldspaatrijkere niveaus kunnen aanleiding geven tot een verhoogde porositeit. Ook de hoger vermelde "placers", laagjes met sterke concentraties aan zware mineralen, bevatten een verhoogde porositeit** (foto 7) als gevolg van de verwerking van chemisch minder stabiele zware mineralen zoals ijzer- en magnesiumrijke silicaten (pyroxenen, hoornblendes) (foto 8). In deze placer-rijke zandsteenvarianten werd trouwens ook een carbonaatcement opgemerkt (calciet) dat gevoelig is voor chemische verwerking (oplossing door relatief zuur meteorisch water) **en dat op termijn kan bijdragen tot een verhoogde porositeit.**

Bovendien is deze secundaire porositeit grotendeels gesloten, d.w.z. dat bevriezend water niet naar nabijgelegen poriën kan uitwijken en hierdoor geen expansieruimte krijgt, zodat de interne kristallisatie-druk van het ijs het gesteente zal doen barsten. Bij doorzagen van de hoger vermelde verkleurde stalen van Indische zandsteen werden, in de diepte, **slechte hechtingen tussen opeenvolgende zandsteenlaagjes opgemerkt, waardoor de steen volgens horizontale vlakken (gelaagdheidsvlakken) ging splijten.** De hoge (secundaire) porositeit, gekoppeld aan een slechte hechting kan er op wijzen dat de steen inderdaad ook vorstgevoelig is. Bijkomende proeven zijn hier zeker aangewezen om de vorstbestendigheid van de Budhpara zandsteen beter te kunnen evalueren. Een eerste reeks van testen bleek alvast uit te wijzen dat de vorstbestendigheid van de zandsteen in orde was, maar of deze representatief zijn voor de totaliteit van de geleverde Indische zandsteentegels?



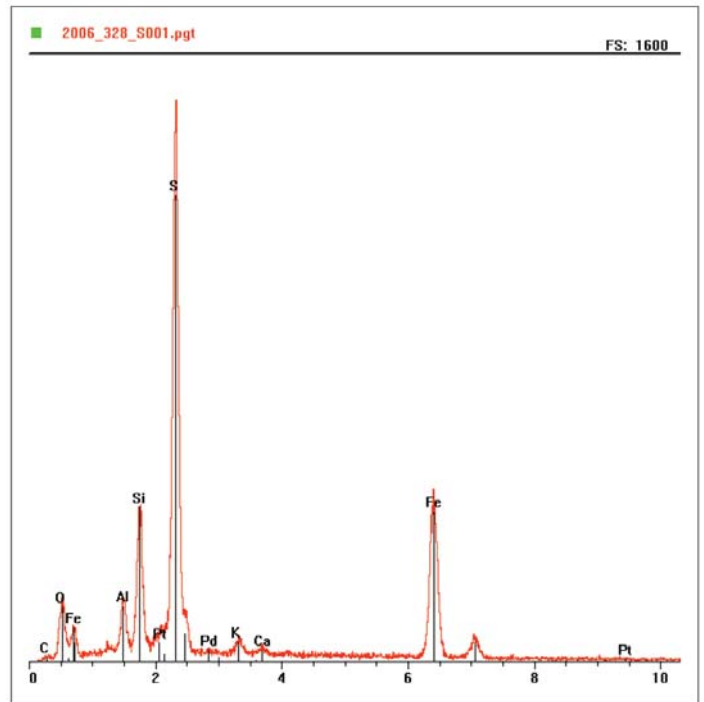
fig 1



8

fig1EDX-spectrum van hetzelfde breukvlak met identificatie van pyriet (duidelijke pieken van Fe en S).
8 Detail van foto 7 met doorzichtige en kleurloze, gezoneerde zirkoonkristallen en donkerbruine tot zwarte (half-opake) verweerde Fe-Mg-rijke silicaten(?).

Live Time: 100,00 Count Rate: 1001 Dead Time: 19,69 %
Beam Voltage: 20,00 Beam Current: 2,00 Takeoff Angle: 25,00



Voorkomen beter dan genezen

De afwezigheid van technische data waarbij de duidelijke herkomst en technische karakteristieken (zoals geologische context, mineralogische samenstelling, e.d.) van geïmporteerde materialen wordt gegarandeerd door een attest of certificaat dat is afgeleverd door een in België erkend controleorganisme, leidt meestal tot problemen. Enerzijds dekt de commerciële naam de lading niet, anderzijds is het vooropgestelde goede "gedrag" (lees duurzaamheid) in het buitenland van een materiaal geenszins een garantie dat dit ook in onze klimaatsomstandigheden zo zal zijn.

Het is aangewezen, indien geen enkele herkomst of mineralogische karakteristiek van het materiaal bekend is, om dit gesteente vooraf microscopisch (petrografisch) te laten onderzoeken. Deze optische analysetechniek geeft een snel en accuraat beeld van de mineralogische samenstelling, van zijn inwendige textuur (ruimtelijke verhouding van de componenten, kwaliteit van de hechting en hierdoor mogelijke mechanische defecten) en van zijn potentiële duurzaamheid (verweringsgevoeligheid op basis van de aanwezigheid van chemisch minder of niet stabiele mineralen, een verhoogde porositeit of haarscheurtjes).

Gezien de mogelijke consequenties op soms relatief korte termijn, dringt een preventieve petrografische analyse zich op in het lasenboek en dit zeker voor elke belangrijke werf. Deze techniek wordt nu reeds toegepast in Vlaanderen en het Brussels Gewest bij partijkeuringen van materialen bestemd voor belangrijke werken. Bovendien is het aan te bevelen om aan de invoerder een kwaliteits-certificaat op te vragen waardoor herkomst en technische karakteristieken gegarandeerd zijn. Een dergelijk certificaat wordt door BCCA en COPRO, samen met BUTgb, voorbereid met als objectief de invoering van een BENOR productcertificaat.

Roland Dreesen, David Lagrou & Peter Nielsen
VITO, Expertisecentrum Materialtechnologie, Mol

¹ Brown, A.D., Jurinak, J.J. (1989): Mechanisms of non-biological pyritic sulfur oxidation under alkaline conditions. *Arid Soil Res.* 3: 65-76.

² Todd, EC, Sherman, DM, Purton, JA (2003): Surface oxidation of pyrite under ambient atmospheric and aqueous (pH=2 to 10) conditions: electronic structure and mineralogy from X-ray absorption spectroscopy. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 67 (5): 881-893.

	Staal 1	Staal 2
Porositeit (in %)		
Gemiddelde	6,7	7,9
min - Max	3,6 - 13,7	3,2 - 12,8
Standaarddeviatie	2,4	3,0
Pyrietgehalte (in %)		
Gemiddelde	9,7	2,7
Standaarddeviatie	4,9	0,8

Tabel 1: Bepaling van de porositeit en het pyrietgehalte door automatische beeldanalyse op slijpplaatjes van 2 stalen.

